

PENGARUH WAKTU PENUAAN TERHADAP SIFAT FISIK PADA SINTESA BAHAN PADUAN INGAT BENTUK CuNiAl

Martin Djamin

Fak. Teknologi Industri, Institut Teknologi Budi Utomo, P. Klender, Jakarta timur

Budiarto

P3IB-BATAN, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang, 15314

ABSTRAK

PENGARUH WAKTU PENUAAN TERHADAP SIFAT FISIK PADA SINTESA BAHAN PADUAN INGAT BENTUK CuNiAl. Telah dilakukan pembuatan paduan CuNiAl menggunakan teknik metalurgi serbuk. Ketiga serbuk Cu, Ni, dan Al, dicampur dengan perbandingan komposisi persen volum (83,3:3,8:12,9, 83,1:3,9:13,0, 82,9:4,0:13,1, 82,7:4,1:13,2), dihomogenkan menggunakan ball mill, dan dikompaksi dingin 5,0 ton/cm². Pemanasan pada temperatur 650 °C selama 45 menit, diberi perlakuan panas (solid solution) pada 1000 °C, 45 menit, selanjutnya di-quenching dalam media air, serta di-aging 200 °C selama 2, 6, 10, 14, dan 24 jam, tujuan untuk mendapatkan paduan CuNiAl sebagai basis paduan ingat bentuk. Paduan CuNiAl yang dihasilkan dikarakterisasi terhadap strukturmikro, uji kekerasan, dan densitas. Hasil pengujian strukturmikro menunjukkan bahwa fasa martensit yang berbentuk pelat-pelat lamelar yang cenderung mengkasar dengan pertambahan waktu penuaan. Hasil uji densitas menunjukkan bahwa densitas akan meningkat dengan bertambahnya waktu penuaan, nilai densitas : 7,43 – 8,11 g/cm³. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan meningkat dengan bertambahnya waktu penuaan, yaitu 132,5 – 147,3 Hv.

ABSTRACT

INFLUENCE OF AGING TIME ON THE PHYSICAL PROPERTIES IN THE SYNTHESIS OF CuNiAl SHAPE MEMORY ALLOY. Synthesis of CuNiAl metal alloy using powder metallurgy technique has been carried out. All Three mixture with ratio volume percentage (83.3:3.8:12.9, 83.1:3.9:13.0, 82.9:4.0:13.1, 82.7:4.1:13.2) has been processed into a homogeneous mixture with ball mill, and the cold pressed at 5.0 ton/cm². This was heated at 650 °C for 45 minutes of terward. The mixture was heated for solid solution treatment at 1000 °C, for 45 minutes then quenched in water media aged at 200 °C for 2, 6, 10, 14, and 24 hours to obtain alloy in shape memory basis. The product of CuNiAl alloy was then characterized for its, microstructure, hardness test, and density. The results of microstructural investigation show that the martensite phase consists of lammelar plates which tend to get carser with additional aging time. The result of density show that the density tends to increased with aging time, with density value of 7.43 - 8.11 g/cm³. The result of hardness show that hardness also tends to increace with aging time, with hardness value of 132.5 - 147.3 Hv.

PENDAHULUAN

Bahan paduan temer Tembaga Nikel Alumunium (CuNiAl) dengan komposisi tertentu merupakan salah satu bahan paduan yang digunakan sebagai bahan ingat bentuk (*shape memory alloy*) yang penggunaannya untuk berbagai aplikasi, seperti di bidang industri (penyambung dan penyekat, alat kontrol, alat pengaman, alat peredam), energi (alat pengubah energi panas yang bekerja pada dua sumber yang berbeda, pada mesin pendingin pada mesin otomotif), dan kedokteran (alat perata/perapi gigi sebagai kawat orthodensi, sebagai bio-material untuk orthopedi). Logam paduan ingat bentuk berbasis Cu, dapat dilihat Tabel 1, paduan ini banyak dipakai karena sifatnya yang menguntungkan yakni, memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik, memiliki stabilitas yang lebih baik untuk dioperasikan pada temperatur yang lebih tinggi, tanpa memberikan degradasi

terhadap sifat ingat bentuknya, memiliki tahanan listrik yang lebih tinggi^[1,2].

Sifat umum dari paduan logam ingat bentuk terletak pada kemampuannya untuk dibentuk pada temperatur yang rendah dan dapat “teringat” kembali terhadap bentuknya semula seperti sebelum dibebani bila temperatur dinaikkan.

Menurut peneliti terdahulu^[3,4], menyatakan bahwa hasil pengamatan temperatur terhadap basis resistivitas listrik, dimana pada temperatur kamar hingga temperatur 66°C paduan ingat bentuk berfasa martensit dan pada akhirnya, temperatur 72°C, fasa paduan ingat bentuk seluruhnya berfasa austenit. Temperatur awal saat terjadi perubahan fasa martensit ke fasa austenit dikenal sebagai *Austenit start* (*A_s*) dan saat temperatur saat seluruhnya menjadi fasa austenit dikenal sebagai *Austenit final* (*A_f*). Perkembangan dari transformasi yang reversibel diikuti pula oleh perubahan sifat yang

sensitif terhadap transformasi atau strukturmikro. Transformasi dari austenit ke martensit pada saat pendinginan dimulai, disebut temperatur transformasi *Martensit start* (M_s) dan kemudian diakhiri dengan temperatur transformasi *Martensit finish* (M_f). Sehingga transformasi yang terjadi dari fasa austenit ke fasa martensit adalah transformasi

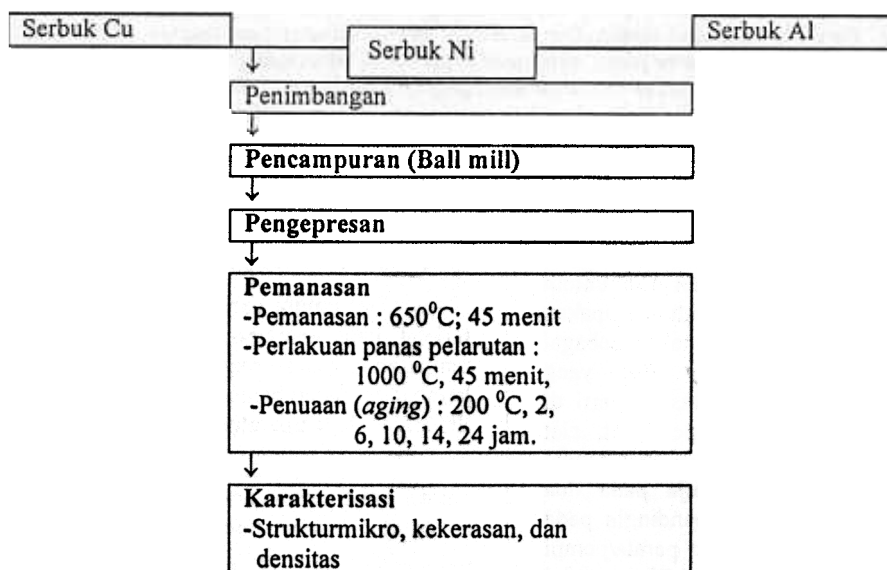
yang tidak membutuhkan panas disebut dengan mekanisme transformasi athermal, karena perubahan temperatur dari fasa austenit ke temperautr kamar berlangsung sangat cepat maka tidak mungkin mekanisme difusi dapat berlangsung.

Tabel 1. Paduan ingat bentuk logam dasar Cu dengan karakteristik *shape memory effect* [3].

Paduan	Komposisi	Temperatur Transformasi ($^{\circ}\text{C}$)	Transformasi Hysteresis
CuNiAl	14 – 14,4wt%Al		-35
CuAlBe	3 – 4,4wt%Ni	-30 – 40	-6
	9 – 12wt%Al		
CuAuZn	0,6 – 1,0wt%Be	-190 – 40	-6
	23-28wt%Au		
	45-47wt%Zn		
CuSn	15wt%Sn	-120 – 30	
CuZn	38,5 – 1,5wt%Zn	-180 – 10	-10
CuZnX	few at% X	-180-100	-10
(X=Si,Sn,Al)			
CuZnY	few at.%Y	-180 – 100	-10
(Y=Ga,Al)			

Dalam penelitian ini pepaduan CuNiAl dilakukan dengan menggunakan teknik metalurgi serbuk dengan variasi waktu penuaan terhadap strukturmikro, densitas, dan kekerasan. Dimana proses metalurgi serbuk merupakan salah satu proses yang digunakan untuk membentuk material.

Keunggulan dari proses ini agar dicapai pembentukan butir yang halus, sehingga kemungkinan terjadinya retak antar butir (*granular cracking*) ketika deformasi dapat dihindarkan^[3].



Gambar Diagram alir pembuatan paduan CuNiAl

Bahan dan Metode

Bahan : -Cu, 99,9 %, Ni 99,9 %, Al 99,9 % powder (Furuuchi), Gas argon (IGI).

Alat : - Timbangan (Sartorius), Ball Mill, Furnace (NABER), alat Press dan perlengkapannya. Mikroskop optik (Nikon), Hardness Test.

Metode

Ketiga serbuk Cu, Ni, dan Al, dicampur dengan perbandingan komposisi persen volum (83,3:3,8:12,9[CNA1], 83,1:3,9:13,0[CNA2], 82,9:4,0:13,1[CNA3], 82,7:4,1:13,2[CNA4]), dihomogenkan menggunakan ball mill, dan dikompaksi dingin 5,0 ton/cm². Pemanasan pada temperatur 650 °C selama 45 menit, diberi perlakuan panas (*solid solution*) pada 1000 °C, 45 menit, selanjutnya di-*quenching* dalam media air, serta di-*aging* 200 °C selama 2, 6, 10, 14, dan 24 jam. Sampel yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi terhadap strukturmikro, uji kekerasan, dan uji densitas. Pengujian densitas menggunakan metode Archimedes/ASTM C 20 - 92), uji kekerasan menggunakan metode Vicker,(ASTM E384), dimana sampel dipolis permukaannya dengan kertas amplas grade 1500 dan resin alumina, pembebanan 0,2 Kg selama 40 detik dan pengujian strukturmikro dengan alat mikroskop optik (Nikon).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Strukturmikro

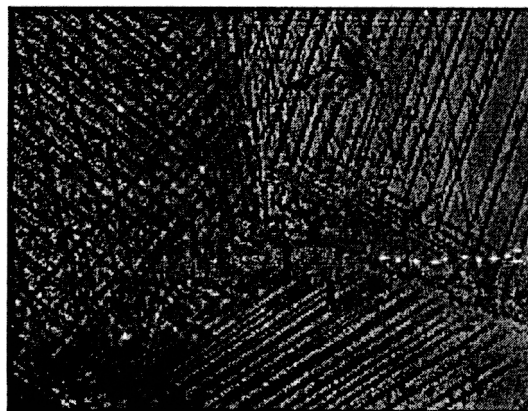
Pengamatan menggunakan mikroskop optik paduan CuNiAl, sebelum diperlakukan panas pelarutan, gambar 2, menunjukkan pola struktur yang umum dicirikan oleh suatu paduan logam hasil proses metalurgi serbuk yaitu, terlihatnya pori-pori diantara aglomerat. Hal ini menunjukkan bahwa paduan hasil proses sebelum mengalami perlakuan panas ini, mempunyai sifat getas dan tidak mencirikan strukturmikro yang baik sebagaimana paduan ingat bentuk yang mempunyai karakteristik unik, yaitu yang mampu kembali ke bentuk semula.



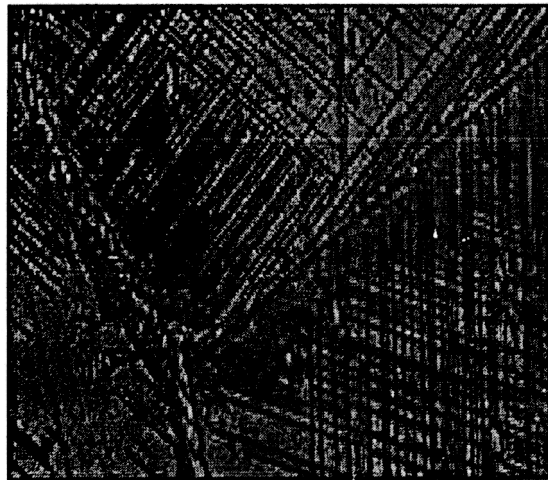
Gambar 2. Morfologi strukturmikro dari paduan CuNiAl, sebelum perlakuan panas pelarutan , pembesaran 105X



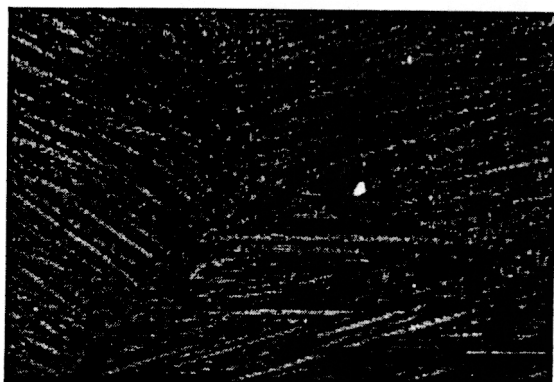
a).



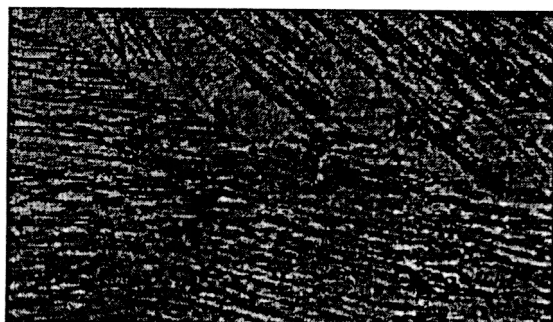
b).



c).



d).



e).

Gambar 3. Morfologi strukturmikro dari paduan CuNiAl, sesudah perlakuan panas pelarutan, pembesaran 105X., Waktu penuaan a. 2 jam, b. 6jam, c. 10jam, d. 14jam, dan e. 24jam.

Strukturmikro paduan ingat bentuk, dicirikan dengan adanya pola strukturmikro yang rapat, tidak terlihat adanya pori dan tersusun oleh adanya pola fasa martensit. Fasa martensit ini merupakan ciri awal dimungkinkannya proses transformasi fasa. Gambar 3, morfologi strukturmikro dari paduan CuNiAl, sesudah perlakuan panas pelarutan (1000°C , 45 menit) diikuti pendinginan cepat (*quenched*) pada media air, dan di-aging pada 200°C dengan variasi waktu penuaan, lihat Gambar 2a s/d 2e.

Hasil perlakuan pelarutan (1000°C , 45 menit) diikuti pendinginan cepat pada media air, dan di-aging pada 200°C , ditunjukkan dengan adanya

struktur pelat lamelar. Strukturmikro pelat lamelar yang tumbuh secara acak ini, menyatakan bahwa paduan ingat bentuk CuNiAl pada temperatur kamar sebagai akibat perlakuan panas pelarutan adalah berfasa martensit. Menurut peneliti terdahulu^[6,8,9], yang menyatakan bahwa semakin lama waktu penuaan dengan pengerjaan dingin akan terjadi peningkatan kerapatan dislokasi dalam kristal paduan dimana dislokasi yang telah terbentuk tersebut dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap gerakan dislokasi pada deformasi berikutnya. Karena batas kristal atau batas butir dari logam/paduan merupakan pertemuan antara kristal, sehingga pada daerah tersebut susunan atom-atomnya tidak teratur. Akibatnya atom-atom pada batas kristal mempunyai mobilitas yang lebih tinggi dibanding dengan atom-atom didalam kristalnya. Karena itu bila terjadi deformasi plastis maka dislokasi pada umumnya terjadi dari batas butir dan kemudian bergerak didalam dan akhirnya berhenti pada batas kristal berikutnya. Ini berarti, disamping sebagai tempat permulaan terjadinya dislokasi, batas kristal juga berlaku sebagai penghalang/perintang dislokasi. Jadi untuk logam/paduan yang mempunyai kristal tunggal tidak memberikan halangan yang berarti terhadap pergerakan dislokasi sehingga kekuatan/kekerasannya sangat rendah. Karena itu logam/paduan polikristal pada umumnya mempunyai kekuatan/kekerasan lebih besar. Demikian juga untuk paduan CuNiAl makin lama waktu penuaan dan makin besar komposisi penambahan Ni/Al pada matrik, meningkatkan sifat fisiknya.

Analisis Densitas

Dari pengujian densitas yang dilakukan dihasilkan (tabel 2), menunjukkan terjadinya peningkatan densitas dengan bertambahnya waktu penuaan. Hal ini disebabkan karena jika waktu penuaan makin tinggi maka penyusutan yang terjadi makin besar, menyebabkan densifikasi karena volume sampel mengecil dan partikel menjadi lebih rapat. Penyusutan inilah yang akan meningkatkan densitas paduan CuNiAl. Hal ini disebabkan karena makin lama waktu penuaan, akan meningkatkan rapat jenis, karena partikel yang telah hancur ini akan mengisi rongga antar partikel.

Tabel 2. Data densitas (g/cm^3) terhadap variasi waktu penuaan (jam) dari paduan CuNiAl

Komposisi Paduan	Waktu penuaan 2jam	Waktu penuaan 6jam	Waktu penuaan 10jam	Waktu penuaan 14jam	Waktu penuaan 24jam
CNA1	7,43g/cm ³	7,51 g/cm ³	7,58 g/cm ³	7,63 g/cm ³	7,70g/cm ³
CNA2	7,57g/cm ³	7,69 g/cm ³	7,72 g/cm ³	7,79g/cm ³	7,81 g/cm ³
CNA3	7,71g/cm ³		7,81g/cm ³	7,89g/cm ³	7,94 g/cm ³
CNA4	7,95g/cm ³	8,03 g/cm ³	8,04g/cm ³	8,06g/cm ³	8,11g/cm ³

Menurut peneliti terdahulu^[5], menyatakan bahwa proses pemanasan telah terjadi penurunan energi bebas sistem (penurunan luas permukaan). Energi permukaan serbuk yang menyebabkan titik kontak antar partikel tumbuh menjadi batas butir meninggalkan tempat kosong (*vacancy*) yang cenderung membulat pori dan pembesaran butir dengan gaya penggerakannya tegangan permukaan dan akibatnya akan terjadi proses difusi permukaan, difusi volume dan evaporasi-kondensasi. Sehingga

transpor massa akan mempengaruhi perubahan dimensi secara keseluruhan.

Analisis Kekerasan

Hasil pengukuran kekerasan terhadap waktu penuaan dari paduan CuNiAl perlakuan panas (*solid solution*) pada 1000 °C, 45 menit, quenching pada media air serta di- *aging* 200 °C selama 2, 6, 10, 14, dan 24 jam, diperlihatkan pada tabel 3. dibawah ini.

Tabel 3 Data kekerasan(Hv) terhadap variasi waktu penuaan (jam) dari paduan CuNiAl.

Komposisi Paduan	Waktu penuaan 2jam	Waktu penuaan 6jam	Waktu penuaan 10jam	Waktu penuaan 14jam	Waktu penuaan 24jam
CNA1	132,5 Hv	133,9 Hv	135,3 Hv	136,4 Hv	138,9 Hv
CNA2	135,6 Hv	136,2 Hv	137,6 Hv	138,5 Hv	140,8 Hv
CNA3	137,4 Hv	138,7 Hv	139,1 Hv	141,3 Hv	145,2 Hv
CNA4	138,6 Hv	140,4 Hv	143,8 Hv	144,1 Hv	147,3 Hv

Dari tabel 3 tersebut tampak ada kecenderungan bahwa kekerasan meningkat dengan bertambah waktu penuaan. Dengan pendinginan yang cepat dari temperatur austenit dapat meningkatkan kekerasan sebagai akibat terbentuknya struktur martensit, penjelasan ini didukung gambar morfologi yang berbentuk pelat lamelar. Hal ini karena selama proses *aging* (pengendapan) dapat membentuk endapan atau partikel-partikel halus dalam matrik, sehingga menghasilkan peningkatan kekerasan maupun kekuatan. Kekerasan/kekuatan sangat dipengaruhi oleh morfologi endapan (partikel) yang terjadi. Partikel halus dengan jarak yang rapat maka dislokasi sukar bergerak, sehingga diperoleh kekerasan/kekuatan logam yang tinggi. Menurut peneliti terdahulu^[3,6], mengatakan bahwa tingkat kekuatan logam paduan ditentukan juga oleh kemampuan atom-atom dalam kristal mengalami pengerasan ketika dibebani secara plastis. Semakin besar energi yang diperlukan untuk menimbulkan pergeseran atom-atom (dislokasi) tersebut berarti semakin kuat/keras logam tersebut. Terbentuknya dislokasi serta kondisi pergerakannya didalam kristal logam dipengaruhi tidak hanya oleh tingkat kerapatan atom dalam kristal, tetapi juga oleh faktor rintangan (*barrier*) yang terjadi dalam kristal. Semakin besar rintangan yang terjadi berarti semakin besar energi yang diperlukan untuk menimbulkan/menggerakkan dislokasi atau berarti pula semakin kuat/keras logam tersebut. Untuk logam yang tidak memiliki pori-pori kekerasan berbanding terbalik dengan ukuran butir. Kekerasan logam menurun dengan bertambah besarnya ukuran butir. Selain itu peningkatan kekerasan juga diakibatkan proses pengendapan (*aging*). Proses *aging* ini dapat membentuk endapan atau partikel-partikel halus dalam matrik, sehingga menghasilkan

peningkatan kekerasan. Pengaruh temperatur serta waktu pemanasan ketika proses *aging* sangat menentukan tingkat kekerasan yang dicapai, ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan. Bila temperatur *aging* terlampaui tinggi atau waktu *aging* terlampaui lama maka dapat menimbulkan kondisi *overaging* dimana mengakibatkan terjadinya penurunan kekerasan logam.

KESIMPULAN

Dari analisa dapat disimpulkan sebagai berikut

Terdapat hubungan yang signifikan antara waktu penuaan dengan densitas dan kekerasan paduan CuNiAl dimana makin lama waktu penuaan, densitas dan kekerasan meningkat.

Analisa strukturmikro menunjukkan bahwa fasa martensit telah terbentuk, berupa pelat-pelat lamelar yang cenderung mengkasar dengan pertambahan waktu penuaan.

DAFTAR PUSTAKA

- ADNYANA, D.N., *Teknologi Paduan Logam Shape Memory dan Penerapannya untuk Industri*, KIPNAS IV, Jakarta, 8-12 September 1986, hal 13-20.
- AVNER, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1974.
- BINTANG A., DAN IMMANUEL G., *Pengaruh parameter perlakuan panas terhadap karakteristi Shape Memory Paduan Terner CuNiAl*, Buletin IPT, No.3 Vol Iv, agustus/September 1998, ISSN 0854-4700, hal. 37-40.

4. ELMAN PANJAITAN, *Perilaku presipitat TiNi paduan Nitinol akibat perlakuan panas penuaan*, Prosiding Seminar Nasional Mikroskopi dan Mikroanalisis IV, Serpong, 8 September 1999, ISSN 1411-1268, hal 67-70.
5. LU, L., LA, M., ZHANG, S., *Preparation Of Copper Based Shape Memory Alloy via Mechanical Alloying Technique*, *Material Science And Tehnology*, 1994, 10, 319.
6. ADNYANA, D.N., *Logam dan Paduan*, Material kuliah /Kursus untuk Perguruan Tinggi Teknik, Politeknik dan Industri, 1989, hal.121-135.
7. ASM Handbook, *Properties and Selection, Non Ferrous Alloys and Special Purpose Materials*, The Material Information Society, USA, 1992, 2, 897.
8. TATA SURDIA DAN SHINROKU SAITO, *Pengetahuan Material Teknik*, Penerbit Pradnya Paramita, hal 125.
9. ELMAN PANJAITAN, SULISTIOSO G.S, BAINA A., *Pembuatan dan karakterisasi Logam paduan CuZn sebagai Basis Logam paduan Ingat Bentuk*, *Jurnal Mikroskopi dan Mikroanalisis*, Edisi Khusus, ISIN 1410-5594, hal. 170-175.

TANYA JAWAB

Sri Sulamdari

- Hasil pengujian struktur mikro menunjukan bahwa fasa martensit yang berbentuk pelat-pelat lamelar yang cenderung mengkasar dengan

penambahan waktu pemanasan; sebab apa?

Budiarto

- Karena telah terbentuk fasa β martensit, yang ditandai dengan bentuk lamelar-camelar dari fasa α Austenit.

Yunanto

- Apakah kenaikan densitas dan kekerasan ini memang benar-benar atau hanya kesalahan pembacaan data.
- Kenaikan densitas dan kekerasan ini sudah sesuai yang diharapkan (menurut literatur).

Budiarto

- Tidak ada kesalahan membaca, ini sesuai metode Vicker (ASTME384).
- Sudah, karena menghasilkan penelitian cukup ini.

Widdi Usada

- Apakah proses penuaan dapat mengurangi sifat kelenturan (ingat bentuk) paduan tersebut?
- Bagaimana dengan sifat terhadap radiasi elektromagnet khususnya bila dipakai sebagai bahan kawat pada BH.

Budiarto

- Belum kami lakukan pengujian tentang sifat kelenturan dari bahan paduan ingat bentuk (CuNiAl) ini.
- Pada penelitian ini belum kami lakukan "training" agar mempunyai sifat shape memory alloy dan juga belum diukur sifat elektromagnetnya.